

文章编号: 1672-8785(2011)04-0015-03

三镜头偏振 CCD 相机响应的非一致性校正

李 娟¹ 易维宁²

(1. 湖州师范学院, 浙江湖州 313000 ;

2. 中国科学院安徽光学精密机械研究所中国科学院通用光学定标与表征技术重点实验室, 安徽合肥 230031)

摘 要: 简要介绍了三镜头偏振 CCD 相机。在分析三镜头偏振 CCD 相机探测元响应的不均匀性和三个偏振方向响应的非一致性的基础上, 介绍了一种基于辐射定标的校正方法。通过偏振测量实验, 分别计算得到偏振光的真实偏振度、偏振成像原始图像和经非一致性校正后的图像的偏振度。结果表明, 非一致性校正可提高成像偏振信息的解析精度。

关键词: 三镜头; 偏振; CCD 相机; 非一致性校正

中图分类号: TP72 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.04.004

Nonuniformity Correction of a Three-lens Polarizing CCD Camera

LI Juan¹, YI Wei-ning²

(1. Huzhou Teachers College, Huzhou 313000, China;

2. Key Laboratory of Optical Calibration and Characterization, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: A three-lens polarizing CCD camera is presented in brief. After the response nonuniformity of the detector used in the three-lens polarizing CCD camera and its response nonuniformity in three polarization directions are analyzed, a correction method based on radiation calibration is proposed. The real polarization of the polarized light, the polarization of the original polarized image and the polarization of the image corrected by using the nonuniformity correction method are calculated respectively in the polarization measurement experiment. The result shows that this nonuniformity correction method can improve the analytic precision of the polarization information in an image.

Key words: three-lens; polarizing; CCD camera; nonuniformity correction

1 引言

偏振是光场(电磁场)矢量特性的表征。物体(固体、气体、液体或等离子体)的内部结构或表面特征可以改变光的偏振特性, 即物体可以使入射光的偏振特性受到调制。根据测得的光偏振特性反推(解调)物体的某些特征, 从而确定此种物体的存在或存在的状态, 是偏振遥感

技术的物理基础^[1]。

一般说来, 电磁波经物体表面反射后, 其偏振状态会根据表面的结构、纹理以及入射角度发生改变, 使物体表面的某些信息得到增强, 从而使人们能更有效地鉴别物体。同非偏振成像探测相比, 偏振成像探测可以得到更多易于区分目标的特征信息。目前, 偏振探测已经得到了广泛应用, 如云和大气气溶胶探测、矿物勘探、

收稿日期: 2011-01-13

作者简介: 李娟(1984-), 女, 湖北襄阳人, 助教, 主要从事卫星 CCD 相机的辐射定标研究。E-mail: xndlijuan@yahoo.com.cn

土壤分析、海洋探测、天文探测、医学诊断和军事目标识别等^[2]。

最近几年发展起来的偏振遥感仪器主要以三镜头和单镜头成像系统为主^[3,4]。单镜头成像系统通过旋转偏振片,可分别获取相间 60° 的三个偏振方向的数据。而三镜头成像系统是三路并行系统,可同时获取三个偏振方向的数据。这种成像方式在三个方向上使用的偏振器、光学系统、滤光片和探测器并不完全一致,会给偏振探测带来误差。由于偏振信息是从强度信息中获取的,为了使最终的图像能够准确反映目标辐射强度信息,提高偏振测量的准确度和改善图像质量,我们必须对偏振成像系统进行定标。

2 三镜头偏振 CCD 相机

实验中使用的三镜头偏振 CCD 相机是由中国科学院安徽光学精密机械研究所研制的^[4]。它采用平行光路结构,其三个偏振方向(即 0°、60° 和 120°)的光筒呈品字形排列,它们只需在每个偏振角度上分别对目标采集一次图像,即可同时获得同一目标在三个偏振方向上的图像数据。仪器的主要技术参数如表 1 所示。

表 1 偏振 CCD 相机的主要技术指标

性能参数	
中心波长	665nm
带宽	60nm
系统光学参数	焦距: 200mm, 相对口径: 2.8
CCD 相机参数	面阵 CCD/1024×1024, 量化 8 位
偏振方向	3, (0°、60° 和 120°)
瞬时视场	0.06mrad
照相速率	10 幅/s (max)
曝光时间	8000μs

单个偏振方向的基本光路如图 1 所示。其中,来自目标的辐射光经过线偏振器,进入三个相似的成像物镜系统(其光轴互相平行),最后在探测器处形成目标的像。

3 三镜头偏振 CCD 相机响应度非一致性校正

3.1 辐射响应度定标的数学模型

在偏振 CCD 相机的动态范围内,其辐射定标的数学模型可以用式 (1) 表示^[5]:

$$V_k(i, j) = A_k(i, j)X(i, j) + N_{k,0}(i, j) + N_k(i, j) \quad (1)$$

式中, $V_k(i, j)$ 为输出的灰度值, $k = 1, 2, 3$ 分别代表三个偏振方向(0°、60° 和 120°); $X(i, j)$ 为相机入瞳处的辐亮度; $A_k(i, j)$ 为辐射定标系数; $N_{k,0}(i, j)$ 为暗电流信号; $N_k(i, j)$ 为随机噪声。

在实验过程中,可以认为暗电流是一常数,并可通过多次取样来消除 $N_k(i, j)$ 的影响。用相机对积分球进行多次测量,然后对其获得的图像进行平均,就可以得到:

$$\overline{V_k(i, j)} = A_k(i, j)X(i, j) + \overline{N_{k,0}(i, j)} \quad (2)$$

式中, $\overline{V_k(i, j)}$ 表示经多次测量得到的图像灰度平均值, $\overline{N_{k,0}(i, j)}$ 表示暗电流的平均值。由此得到辐射定标系数为

$$A_k(i, j) = \frac{\overline{V_k(i, j)} - \overline{N_{k,0}(i, j)}}{X(i, j)} \quad (3)$$

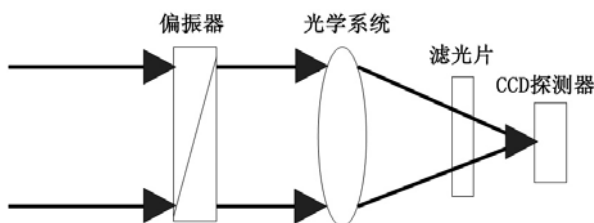


图 1 偏振遥感仪的单个通道光路图

3.2 CCD 相机响应均匀性定标

积分球的出射光可以看作理想的均匀非偏振光。对于均匀光源,图像输出也是均匀的,但是由于各单元探测器的响应不一致,图像并不是均匀的。所以要对图像进行均匀性校正。

首先对输入某一辐亮度后的输出量取平均值并将其作为校正基准,然后将各个探测元件的输出校正到这个基准上来。

$$\overline{V_k(i, j)} = \frac{\sum V_k(i, j)}{N} \quad (4)$$

式中, $V_k(i, j)$ 为第 (i, j) 个探测元件的输出信号, N 为探测元件的总数目, $\overline{V_k(i, j)}$ 为各个探

测元件输出的平均值。用 $\overline{V_k(i, j)}$ 与对应像元的 $V_k(i, j)$ 值的比值作为均匀性定标系数, 即

$$G_k(i, j) = \frac{\overline{V_k(i, j)}}{V_k(i, j)} \quad (5)$$

具体方法是: 首先, 挡住相机的入光孔后进行 50 次测量, 对这些图像灰度值进行平均求得暗电流 $\overline{N_{k,0}(i, j)}$; 然后让相机的入光孔对准积分球, 设置好积分球的能量输出, 再进行 50 次测量, 对图像进行平均求得图像灰度值 $\overline{V_k(i, j)}$ 。根据式 (5) 计算求得定标系数, 再将对应的像元与定标系数相乘即完成非均匀性校正。

3.3 不同偏振方向响应度定标

以 0° 偏振通道中经均匀性校正且扣除暗电流的输出 $V_1(i, j)$ 作为基准信号, 分别与 60° 和 120° 偏振通道中经均匀性校正且扣除暗电流的输出 $V_2(i, j)$ 和 $V_3(i, j)$ 进行比较, 得到的定标系数为

$$V_1(i, j) = h_2(i, j)V_2(i, j) = h_3(i, j)V_3(i, j) \quad (6)$$

式中, $V_2(i, j)$ 和 $V_3(i, j)$ 分别为 60° 和 120° 方向上经均匀性校正且扣除暗电流的信号; $h_2(i, j)$ 和 $h_3(i, j)$ 分别为 60° 和 120° 偏振通道的定标系数。

4 偏振定标系统

偏振定标系统由积分球、偏振 CCD 相机、起偏器、图像采集卡、计算机以及系统软件等几部分组成。整个实验完全是在辐射定标实验室中进行的。其中, 积分球为辐射源, 它发出均匀非偏振光。当进行偏振检测测量时, 在偏振 CCD 相机前面添加起偏器, 使积分球发射的均匀非偏振光变成入射角度为起偏器所指角度的偏振光。图 2 和图 3 所示分别为偏振定标实验装置和偏振检测实验装置。

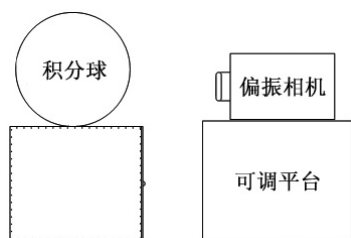


图 2 偏振定标实验装置图

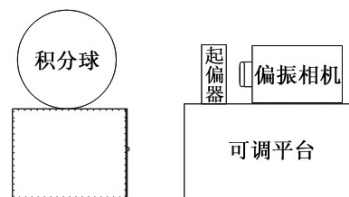


图 3 偏振检测实验装置图

在整个实验过程中, 温度保持在 $20^\circ\text{C} \sim 23^\circ\text{C}$ 范围, 湿度处于 60% 以下。偏振 CCD 相机安装在可调整的工作平台上。通过调整工作台使相机的通光孔位于积分球辐射源的中心, 并使相机的光轴垂直于积分球辐射源。

5 偏振测量精度计算

5.1 偏振测量原理

偏振测量原理:

$$\begin{cases} I = \frac{2}{3}[I(0^\circ) + I(60^\circ) + I(120^\circ)] \\ Q = \frac{2}{3}[2I(0^\circ) - I(60^\circ) - I(120^\circ)] \\ U = \frac{2}{\sqrt{3}}[I(60^\circ) - I(120^\circ)] \end{cases} \quad (7)$$

偏振度为

$$P = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \quad (8)$$

5.2 偏振测量精度比较

根据前面介绍的方法, 计算各个通道的非一致性定标系数, 再将每个像元与对应的定标系数相乘, 即完成了各个通道图像的校正。偏振度及精度值见表 2 所示。可以看出, 经过非一致性校正后, 偏振度的绝对误差 $|P_0 - P_2|$ 都有明显提高; 当起偏器的角度为 $0^\circ \sim 40^\circ$ 时, 精度基本都可以达到 1%。

6 结束语

在偏振遥感探测中, 偏振度的测量精确性受偏振测量部件的测量准确性和光学系统的偏振特性影响^[6]。三镜头偏振 CCD 相机可以通过非一致性校正来提高偏振信息提取精度^[7]。本文详细讲述了三镜头偏振 CCD 相机的定标实验过程和非一致性定标系数的求解方法, 并使用该定标系数对偏振图像进行非一致性校正。在

(下接第 34 页)